

# ZONGO II 水电站电气主接线选择设计

## Selection Design of Main Electrical Wiring of ZONGO II Hydropower Station

林顺 崔东浩

Shun Lin Donghao Cui

中水北方勘测设计研究有限责任公司 中国·天津 300222

China Water Resources Beifang Investigation Design & Research Co., Ltd., Tianjin, 300222, China

**摘要:** ZONGO II 水电站位于刚果民主共和国境内, 装设 3 台容量为 50MW 的水轮发电机组, 设置 1 座 220kV、70kV、10.5kV 升压站。论文通过对水电站接入系统、电气主接线、厂用电系统接线设计的介绍, 对非洲水电站电气设计提出建议, 供相关设计人员探讨。

**Abstract:** ZongoII Hydropower Station, is located in the Democratic Republic of Congo, equipped with three 50MW water turbine generator units and one 220kV, 70kV, and 10.5kV booster station. The paper provides suggestions for the electrical design of hydropower stations in Africa through an introduction to the connection system, electrical main wiring, and auxiliary power system wiring design of hydropower stations, for discussion by relevant designers.

**关键词:** 非洲; 水电站; 主接线; 厂用电接线; 选择; 设计

**Keywords:** African; hydropower station; main electric connection scheme; auxiliary power system scheme; selection; design

**DOI:** 10.12346/edwch.v1i2.7824

## 1 引言

刚果民主共和国简称刚果(金), 地处非洲中部, 面积 234.54 万平方公里。刚果(金)是世界上通电率最低的国家之一, 通电人口不超过国家人口总量的 15.2%。ZONGO II 水电站发电前, 全国电力总装机容量为 2677MW, 实际的发电能力为 1300MW, 电力供应一直处于不稳定状态, 停电限电屡屡发生。

ZONGO II 水电站由刚果河一级支流印基西河 (INKISI) 引水至刚果河 (Le Fleuve Congo) 左岸滩地引水发电, 水电站总装机容量 150MW。工程位于刚果(金)西部电网, 建成后年发电量约为 8.61 亿 kW·h, 年运行小时数为 5746h, 本水电建成后极大缓解了西部电网电力紧缺的状况。

ZONGO II 水电站的建设主要技术规程与规范采用中国技术规程与规范, 充分考虑当地法律法规、现状及国际惯例。本文结合水电站的特点及设计过程, 对水电站接入系统、电气主接线、厂用电接线等设计进行介绍<sup>[1]</sup>。

## 2 水电站接入电力系统

ZONGO II 水电站总装机 3 台, 单机容量为 50MW, 总装机容量为 150MW。水电站位于国家西部电网区域, 距离首都金沙萨直线距离约为 60km。西部电网以 220kV 系统为电力主网, 电源主要来自 INGA 等水电站。根据西部电网的电力需求及电网连接情况, ZONGO II 水电站建成后直接向首都金沙萨供电, 本工程建设 2 回 220kV 架空线路, 在 KINSUKA 区  $\pi$  接入金沙萨附近已建设 220kV 架空线路,  $\pi$  接点位置由当地电网建设 220kV 开关站 1 座。

距离 ZONGO II 水电站 4km 处, 已经建设有 ZONGO I 水电站, 配套 1 座 70kV 开关站为地区负荷供电。ZONGO I 水电站年久失修, 为了提高地区供电的可靠性, ZONGO II 水电通过 2 回 70kV 架空线路连接至 ZONGO I 开关站, 为周边负荷补充供应电能。

## 3 水电站电气主接线选择设计

根据水电站的装机情况和在电力系统中的作用, 设计

【作者简介】林顺 (1980-), 男, 本科, 高级工程师, 从事水利水电工程电气设计、新能源发电设计研究。

中对发电机-变压器接线、220kV 升高电压侧接线、70kV 升高电压侧接线的型式进行分析比较,以选择合适的接线方案。

### 3.1 电气主接线设计原则

基于刚果(金)国家电网电源规模及供电需求现状,ZONGO II 水电站建成后将在电网中发挥重要作用。水电站电气主接线的设计中综合考虑电站的动能特性、建设规模、接入系统设计、枢纽总体布置、运输条件和电气设备特点等因素,以满足电力系统对电站可靠性及对电站机组运行方式的要求。水电站电气主接线的设计遵循了以下原则<sup>[2]</sup>:

①满足电力系统的供电可靠性及电能质量要求,在各种故障情况下应尽量减少电站的停机台数。

②考虑当地运行、管理技术能力条件,电气主接线力求简单清晰,接线中元件数尽量少,利于电气设备紧凑布置,便于运行监视、维护和事故处理。

③考虑地区电网及电源相对薄弱,水电站运行电网环境较差,接线应具有灵活性。电气主接线应能满足水电站电网基荷供电要求,并且适应电网负荷的变化,能通过简单、灵活、方便的操作改变机组运行方式。

④继电保护和控制简单可靠。

⑤尽量考虑成熟的、技术先进的电气设备,在满足接线可靠性前提下力求投资最低。

⑥电气主接线应能适应电网对电站升压站远期穿越电网功率的要求,远期升压站扩建不应引起电气设备布置等大的变化。

### 3.2 发电机—变压器组接线

电站共装机 3 台,单机容量为 50MW,按照国内惯例机组的出口电压选择为 10.5kV。发电机-变压器接线有 3 个单元接线、1 个单元+1 个扩大单元接线、1 个单元和 1 个联合单元接线、3 台机组扩大单元接线等几种方式可选择。根据电站情况及接线方式的各自特点,设计中选择了 3 个单元接线、1 个单元+1 个扩大单元接线及 1 个单元+1 个联合单元接线三种形式进行了比选。

方案 I 采用单元接线方案,每台机组配置 1 台升压变压器,考虑由发电机机端引接厂用电源,发电机出口发电机专用断路器。此接线方案简单、清晰,继电保护容易实现。任何一台机组或变压器检修仅本单元机组电能不能送出,其它单元不受影响,可靠性最高,灵活性最好。机压设备参数较为常规,设备连接方便,对应性好。但是,本方案机压设备最多,设备投资及土建占地最大。

方案 II 采用 1 个单元+1 个扩大单元接线方案,1 台机组与 1 台主变压器组成单元接线,2 台机组与 1 台主变压器组成扩大单元接线。此接线方案较为复杂,使发变组接线及继电保护多样化,不利于设备的统一选择和管理。扩大单元容量为 100MW,在电网容量占比较高,不利于电网的稳定运行。扩大单元主变检修 2 台机组电能不能送出,接线可靠

性及灵活性差。采用扩大单元接线,机端额定电流及短路电流增加较多,提高了设备选择难度。本方案减少了 1 台主变及 1 个 220kV 进线间隔,有利于降低设备投资及土建占地。

方案 III 采用 1 个单元+1 个联合单元接线方案,在 1 机 1 变接线的基础上,将两台主变压器高压侧连接通过 1 回进线接入 220kV 开关站。相对方案 I,此方案减少了 1 个主变进线间隔,有利于减少土建占地降低设备投资。但是两个发变组联合接线降低了可靠性和灵活性,同时使主变高压侧的接线复杂化<sup>[3]</sup>。

刚果(金)国家电网总装机容量不足,电网电源紧缺,电网对本电站接线方案的可靠性要求较高。本电站单机容量为 50MW,考虑电网多数电站因年久失修出力受限,采用 2 机扩大单元接线方案单元容量约占电网总装机的 7%,扩大单元容量占比较大,不利于电网稳定运行。同时,采用扩大单元接线,将大幅增加机压设备参数选择难度,封闭母线额定电流将超过 6300A,发电机断路器开断水平将超过 63kA,虽然减少了设备数量,但是提高了单台设备费用。方案 III 减少了 1 个 220kV 升高电压侧的进线间隔数量,但是接线的可靠性和灵活性不如方案 I 高。方案 I 虽然增加了 1 个 220kV 进线间隔,但是增加的投资不多,大大降低了联合单元 2 台机组退出对电网冲击的概率。综合技术经济比选,设计中推荐了发电机—变压器组接线采用方案 I,即一机一变的单元接线。

### 3.3 220kV 升高电压侧接线设计

根据水电站接入电力系统设计,水电站设置 2 个 220kV 出线间隔;发电机-变压器组接线采用了单元接线,需设置 3 个 220kV 主变进线间隔;根据与 ZONGO I 水电站开关站连接的要求,需设置 2 个 220/70kV 联络变压器间隔;水电站 220kV 升高电压侧规模为 3 进 4 出。220kV 侧电气主接线可以从以下接线方案中选择:单母线、单母线分段、单母线带旁路、双母线及 3/2 断路器接线等。设计中,结合电站的实际情况,重点对单母线分段、单母线分段带旁路、双母线三种接线型式进行技术经济比较。

方案 I 采用单母线接线方案,进出线均汇集到一条母线,接线方案典型、简单,继电保护容易实现。每个进出线均配置断路器,进线、出线互不影响。采用单母线接线方案利于降低设备投资及土建占地。本电站进出线回路比较多,母线故障全站电能不能送出,接线可靠性差。虽然本工程 220kV 配电装置采用 GIS 设备,可以降低母线故障概率,但是运行仍不灵活。

方案 II 采用单母线带旁路接线方案,相对方案 I 增加了旁路母线,任何 1 回出线断路器故障或检修时,可利用旁路断路器及母线恢复故障出线回路运行,一定程度上提高了接线的可靠性。但是主母线故障仍造成全站电能不能送出,可靠性和灵活性较差。同时采用此方案,切换旁路操作复杂,对于技术和管理水平落后的地区适用性不强。

方案Ⅲ采用双母线接线方案，进出线均可汇集到两条母线，接线方案清晰，继电保护简单。每个进出线均配置断路器，进线、出线互不影响。任何一条母线故障，在经过倒闸操作后可以恢复全厂供电，可靠性高，同时提高多个进出线不同运行方式的灵活性。增加一条母线及母线连接设备，设备投资及土建占地有所增加，但是采用 GIS 设备后，土建占地增加有限。

本电站 220kV 系统进出线回路较多，电站在电网中的供电任务较重，需要保证 220kV 接线方案的可靠性。经过 3 种接线方案的比选，双母线接线在 3 个方案中可靠性最高，灵活性最好。配合 220kV 配电装置采用 GIS 设备，双母线接线方案相对其他两个方案设备投资及土建占地增加有限。在设计过程中，对西部电网 220kV 枢纽变电站进行了调研，多数电网枢纽变电站采用了双母线接线方案，双母线接线在当地应用广泛，利于建成后当地人员的运行和管理。因此，设计中推荐 220kV 升高电压侧采用双母线接线方案。

### 3.4 70kV 侧接线设计

根据水电站接入电力系统设计，水电站设置 2 个 70kV 出线间隔连接至 ZONGO I 水电站开关站；水电站内设置两台 220/70kV 联络变压器，70kV 系统设置 2 个进线间隔；水电站 70kV 系统的规模为 2 进 2 出，按此规模进行 70kV 系统主接线选择设计工作。70kV 系统主接线可以从以下接线方案中选择：单母线、单母线分段、单母线带旁路、桥形接线及双母线接线等。设计中，结合电站的实际情况，重点对单母线、单母线分段、双母线三种接线型式进行技术经济比较。

经过 3 种接线方案的比选，虽然 70kV 系统进出线回路不多，但是当地电网对接线的可靠性要求比较高。电站内 220kV 系统采用双母线接线方案，70kV 系统接线与之匹配，便于提高两个系统的运行灵活性。70kV 配电装置采用户内 GIS 设备，采用双母线接线方案较其他两个方案投资增加有限，土建占地面积增加不多，但是大大提高了接线的可靠性及灵活性。因此。70kV 系统接线推荐了双母线接线方案，为了进一步节省投资，考虑进出线回路较少，不设置母线联

络开关。

### 3.5 各系统电气主接线选择方案图

根据对水电站发电机-变压器组接线、220kV 升高电压侧及 70kV 侧电气主接线的多方案比选，选定了各系统电气主接线方案，接线方案图见图 1。

## 4 厂用电电源引接及接线设计

### 4.1 厂用电负荷及供电电压等级

水电站厂房的厂用电负荷主要为电站机组自用电、技术供水系统、空气压缩系统、排水系统、油处理系统、控制保护系统、通风系统、照明系统、小电源系统等用电设备，根据供电设备的用电电压等级、供电范围及供电容量，水电站厂用电系统采用 400V 一级电压供电。

### 4.2 厂用电电源引接

ZONGO II 水电站建成后将成为西部电网的主要供电电源，水电站厂用电系统的可靠性要求比较高。设计中充分考虑水电站自身及周边电网的条件，合理引接厂用电电源。确定水电站的厂用电电源为：

- ①充分利用机组自身发电电能，水电站厂房的厂用电主电源由水轮发电机组机端引接。水电站装设 3 台水轮发电机组，为了适应水电站机组不同的运行方式，由水电站 3 台机组单元母线各自引接 1 回 10.5kV 电源，作为厂用电主供电电源。
- ②利用电力系统倒送电电源作为厂用电的备用电源，发电机机端设置了发电机断路器。
- ③水电站上游建有 ZONGO I 水电站，可作为本水电站厂用电可靠的外引电源。设计中，由 ZONGO I 水电站开关站引接 2 回 10.5kV 电源，经变压器降压后作为厂用电系统备用电源。
- ④由于当地电网不稳定，设置两台 400V 柴油发电机组，作为水电站的保安电源。

### 4.3 厂用电系统接线设计

ZONGO II 水电站厂用电系统采用 400V 一级电压供电，结合当地电网习惯，400V 厂用电系统采用三线四线制，即

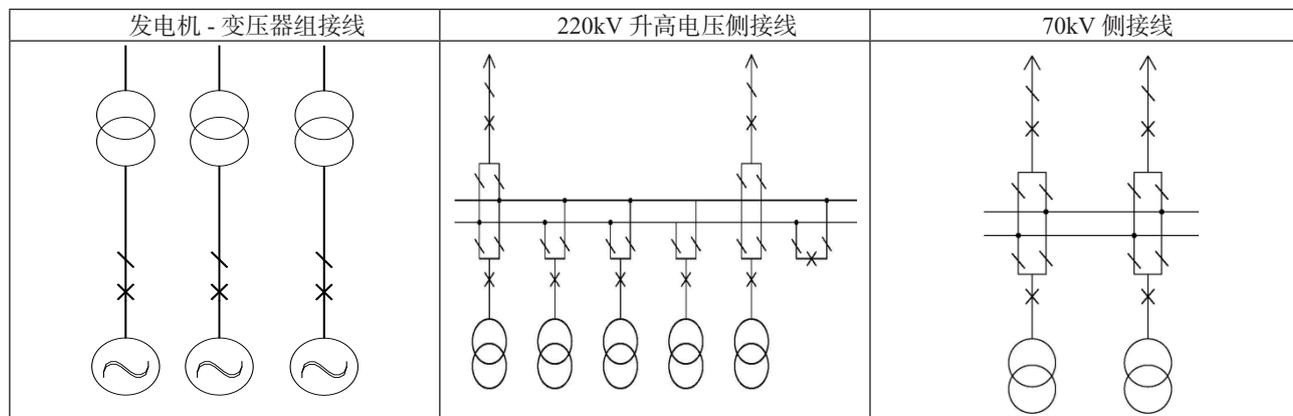


图 1 各系统电气接线方案图

TN-C 系统。本电站厂用电系统电源较多,为保证供电可靠性及运行灵活性,设计中多个电源间的配合及投切方式进行了分析。400V 系统采用单母线 3 分段接线,来自机端、ZONGO I 及柴油发电机组的电源,分别接入三段母线。

400V 厂用电系统 1D 母线及 2D 母线为主供电母线,主要厂用电负荷分别接入此两段母线,3D 母线为备用母线。正常情况下,400V 厂用电 3 段母线分列运行,由来自机端的电源经降压变降至 400V 后分别为 3 段母线供电。当 1D 母线(或 3D 母线)来自机端的主供电电源失电时,闭合与 2D 母线的联络开关,由 2D 为失电母线供电;当来自机端的主供电电源均失去时,利用来自 ZONGO I 开关站的电源供电;如电网电源均失去,投入柴油发电机,为厂房保安负荷供电,保证电站厂房安全。厂用电进线及母线联络间设置电气闭锁,保证电源的安全投切。

设计中考虑地区电网比较薄弱,系统供电质量较差,本工程厂用变压器均配置了有载调压装置,提高厂用电系统供电电源电压波动适应能力。

## 5 经验和建议

①刚果民主共和国电网虽发展较慢,技术相对落后,但西方技术观念较强,设计中需适当考虑当地习惯和做法。

②设计中考虑了当地电网容量较小、耐冲击能力差及供电需求大等特点,适当提高接线可靠性和灵活性,兼顾经济性。

③设计中需要考虑当地管理运行、管理能力,在保证可靠性的同时选择简单、清晰,并便于维护的设计方案。

## 参考文献

- [1] 袁逸群,刘浩,潘天缘,等.水电站机电设计手册 电气一次[M].北京:水利电力出版社,1982.
- [2] 李骈文,陈淑真.电力系统设计手册[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 郑光伟,朱维志.水利水电工程机电设计技术规范[M].北京:中国水利水电出版社,2011.